

Теорія та практика навігаційних приладів і систем

Література

1. Мельник В.М., Карачун В.В. Інжекція акустичної енергії РН і її вплив на похибки гіроскопа // Вісник ЖДТУ. – 2004. Т. 1. – № 4(31) / Технічні науки. – С. 135-138.
2. Мельник В.М., Карачун В.В. Додаткові похибки гіроскопа в акустичному середовищі // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2005. – Вип. 29. – С. 33-36.
3. Mel'nik V.N., Karachun V.V. Influence of radiation on the sensors of a gyrostabilization platform // International Applied Mechanics. – Vol. 40. № 10, 2004. – P. 122-130.
4. Mel'nik V.N., Karachun V.V. Determining Gyroscopic Integrator Errors to Diffraction of Sound Waves // INTERNATIONAL APPLIED MECHANICS. – 2004. – Vol. 40, №3. – P. 328-336.
5. Мельник В.М. Нелінійні коливання рухомої частини поплавкового гіроскопа внаслідок неоднорідності рідиннофазної частини підвісу // Доповіді Нац. Акад. наук України – 2003. – № 8. – С. 54-58.
6. Карачун В.В., Лозовик В.Г., Мельник В.Н. Дифракция звуковых волн на подвесе гироскопа. – К.: Корнейчук, 2000. – 176 с.

Мельник В.Н., Карачун В.В. Приближенные методы интегрирования уравнений поплавка гироскопа с ненулевой Гауссовой кривизной

Строится научная основа анализа динамического состояния подвижной части двухстепенного гироскопа в условиях действия на него внешних возмущений произвольной структуры и физической природы. Очерчивается круг прикладных задач оптимизации геометрии поплавка

Mel'nik V.N., Karachun V.V. Approximate methods of integrating of equations of a float of the gyro with non-zero gaussian curvature

The scientific basis of the analysis of dynamic status of a mobile part of the two-powermode gyro in conditions of operating on it of external disturbances of arbitrary frame and physical nature is under construction. The circle of applied problems of optimization of geometry of a float is delineated

*Надійшла до редакції
3 квітня 2006 року*

УДК 62.526.001.32

МЕТОД СИНТЕЗУ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Задорожний І.С., Задорожний В.І., Східноєвропейський університет економіки і менеджменту, м. Черкаси, Україна

Пропонується метод синтезу системи керування навігаційного комплексу для оптимізації ступеню точності параметрів силового редуктору

Вступ

Створення навігаційних комплексів 5-го покоління для сучасних засобів цілодобового пошуку наслідків надзвичайних ситуацій (техногенних і екологічних катастроф) вимагає підвищення дальності виявлення і локації об'єктів пошуку, що може бути забезпечено створенням систем керування з високою точністю (помилка стеження не більше 10-20 кут. с). Силowymi елементами систем керування є високошвидкісні електричні двигуни, з'єднані з навантажен-

ням силовим редуктором. Редуктору з циліндричними, конічними або черв'ячними передачами властива низка похибок: кінематичні, циклічні, люфти тощо.

В існуючих методах [1, 4] редуктор розглядається як елемент, похибками якого нехтують. Проте аналіз точності виготовлення коліс показує, що для кожного колеса характерні похибки, пов'язані з технологією виготовлення коліс (кінематичні похибки), і похибки профілю зуба (циклічні похибки), амплітуди яких можуть сягати декількох десятків кутових хвилин, унаслідок чого кожна пара коліс може вносити значні похибки в систему керування.

Постановка завдання

В роботах [1, 4] розглянуті причини виникнення кінематичних і циклічних похибок коліс редуктора, обумовлені неточністю їх виготовлення. Проте, вони не дають відповіді на питання: з яким достатнім ступенем точності необхідно виготовляти колеса редуктора для забезпечення необхідної точності конкретної високоточної слідкуючої системи навігаційного комплексу ВСС НК. Метою даних досліджень є розробка методу визначення ступеня точності коліс силового редуктора, виходячи з умов забезпечення необхідної точності ВСС.

Виклад суті досліджень

Відомо, що кінематична похибка колеса ΔF є щонайбільшою похибкою кута повороту зубчатого колеса в межах обороту при тому, що при однопрофільному зачіпленні з точним колесом характеризується амплітудою і визначається частотним спектром.

Амплітуда визначається ступенем точності виготовлення колеса і регламентується стандартами на циліндрові, конічні або черв'ячні передачі. Загальна похибка передачі включає похибку виготовлення колеса, похибку посадки колеса на вал, похибку виготовлення валу і похибку виготовлення підшипників.

Амплітуда (норма) кінематичних похибок у відповідності з ДСТУ 3675-94 для циліндрових передач з модулем до 2,5 мм залежно від діаметра (до 500 мм) для певного ступеня точності виготовлення (4-8) може бути приведена у вигляді графіків на рис.1 а) (при оцінці помилок ВСС НК зручніше користуватися помилками в кутовому вимірюванні). Переклад лінійних переміщень в кутові здійснюється згідно з виразом

$$\Delta F[\text{rad}] = \frac{6,88 \cdot \Delta F_{\Sigma}[\text{mm}]}{D[\text{mm}] \cdot 57,3 \cdot 60} \quad (1)$$

де D – діаметр колеса.

В кутових величинах значення кінетичних помилок приведені на рис. 1 б).

Другою характеристикою кінематичної похибки в ВСС НК є проява частоти. Відомо, що період кінематичної похибки рівний повному обороту колеса. При обертанні колеса з певною швидкістю період буде рівний

$$T_k = \frac{360[\text{deg}]}{\dot{\alpha}}, \quad (2)$$

де $\dot{\alpha}$ – швидкість обертання колеса в град/с.

Основну складову кінематичної похибки можна записати для
- веденого колеса

$$\Delta F_{\kappa I 1H} = \Delta F_{\kappa I 1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360}\right)t, \quad (3)$$

- колеса, що веде

$$\Delta F_{\kappa 2} = \Delta F_{\kappa I 22} \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360}\right) \cdot t. \quad (4)$$

Циклічна похибка характеризує несплавність руху колеса, визначається точністю зубів колеса і має залежність, близьку до гармонійної. Амплітуда і період циклічної похибки визначаються:

$$\delta F_{\mathcal{U}} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}{n}, \quad (5)$$

$$T_{\mathcal{U}} = \frac{360}{\dot{\alpha} \cdot z_1}, \quad (6)$$

де C_i – розмах похибки на одному зубі колеса; n – число вимірів; z_1 – кількість зубів. Для редуктора з j – числом ступенів маємо:

- кінематична похибка веденого колеса

$$\Delta F_{\kappa j 1H} = \Delta F_{\kappa j 1} \cdot \prod_{j=1}^{j-1} i_j \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360} \cdot \frac{1}{\prod_{j=1}^{j-1} i_j}\right) \cdot t, \quad (7)$$

- кінематична похибка колеса, що веде

$$\Delta F_{\kappa j 2H} = \Delta F_{\kappa j 2} \cdot \prod_{j=1}^j i_j \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360} \cdot \frac{1}{\prod_{j=1}^j i_j}\right) \cdot t, \quad (8)$$

- циклічна похибка веденого колеса

$$\delta F_{\mathcal{U} j 1H} = \delta F_{\mathcal{U} j 1} \cdot \prod_{j=1}^{j-1} i_j \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360} \cdot \frac{(2j-1)}{\prod_{j=1}^{j-1} i_j} \cdot z\right) \cdot t, \quad (9)$$

- циклічна похибка колеса, що веде до

$$\delta F_{\mathcal{U} j 2H} = \delta F_{\mathcal{U} j 2} \cdot \prod_{j=1}^j i_j \cdot \sin\left(\frac{2\pi\dot{\alpha}}{360} \cdot \frac{2j}{\prod_{j=1}^j i_j} \cdot z\right) \cdot t. \quad (10)$$

Структурна схема ВСС НК з багатоступеневим редуктором з урахуванням кінематичних і циклічних похибок приведена на рис. 1 г.

В загальному вигляді, кут повороту валу редуктора визначається:

$$\frac{\alpha_n}{\delta_{\text{ИД}}} = i_0 + \Delta i, \quad (11)$$

де $i_0 = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3$ – ідеальне передавальне число редуктора;

$$\Delta i = \frac{1}{i_{ид}} \left(\sum_1^j \Delta F_{kj1n} + \sum_1^j \Delta F_{kj2n} + \sum_1^j \delta F_{uj1n} + \sum_1^j \delta F_{uj1n} \right), \quad (12)$$

де Δi – миттєве відхилення передавального числа від ідеального.

Зазвичай складові похибки мають закон, близький до гармонійного, і впливають на замкнуту систему як внутрішнє збурення з певною амплітудою і частотою спектру.

Ураховуючи те, що смуга пропускання частот замкненої ВСС НК розраховується з умови опанування керуючих дій певної амплітуди і частоти, ВСС здатна відпрацювати складові кінематичних і циклічних похибок, частота яких менше частоти зрізу замкненої системи, тобто

$$(\omega_u; \omega_k) \leq \omega_{cp}. \quad (13)$$

"Породжені" коливання, викликані кінематичними і циклічними похибками, проходять по ланцюгу зворотного зв'язку на вхід ВСС НК, граничну частоту ВСС у зв'язку з цим при проектуванні необхідно вибирати певним чином. За граничну частоту приймаємо частоту, при якій амплітудно-частотна характеристика рівна одиниці. Тому при розробці високоточних СС НК необхідно редуктор проектувати так, щоб:

- складові кінематичних і циклічних похибок редуктора, приведені до навантаження, мали частоту менше частоти зрізу системи;
- амплітуда похибок подальших від навантаження передач повинна бути зменшена збільшенням передавального числа послідовуючих пар коліс редуктора, а саме - необхідно виготовляти колеса по ступені точності, сумарна норма похибок яких $\Sigma \Delta F$ була менше половини допустимої помилки ВСС $[\Theta]_{доп}$:

$$\Sigma \Delta F_{ц} \leq [\Theta]_{доп}. \quad (14)$$

Метод визначення ступеня точності коліс редуктора, виходячи із забезпечення необхідної точності ВСС НК, містить наступні етапи.

Заборонена зона допустимих похибок коліс будується в координатах помилки $[\Theta_m]$ і частоти її вияву (ω) в наступній послідовності:

1. Відповідно до формул (7)...(10) визначаються амплітуди похибок коліс ΔF , приведених до виходу валу редуктора, залежно від діаметра коліс D і ступеня точності виготовлення, рис 1 а.

2. Відповідно до виразу (1) будується залежність і визначається амплітуда похибок коліс ΔF_{Σ} у кутових величинах у функції діаметра D для одного модулю (рис.1 б), але для різних ступенів точності, або залежність амплітуди похибок $[\Theta_m]$ (кут. хв.) = $f(m, D)$ залежно від діаметра колеса D (мм) для різних модулів, але одного ступеня точності.

3. Будуються номограми $\Omega_1 = f(\omega_{11}, D)$ при різних значеннях діаметра колеса D і модулю m (рис. 1 в). Для максимальної робочої швидкості Ω_{1max} знаходяться значення частоти ω_{wmax} .

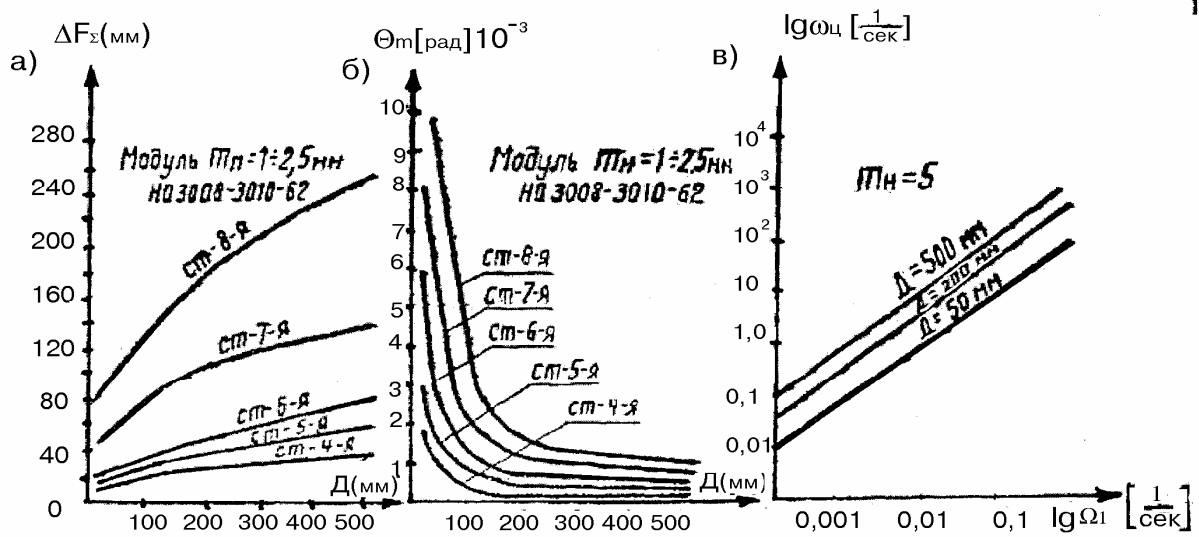


Рисунок 1 – Залежність точності коліс редуктора ВСС від діаметра і швидкості навантаження

4. На площині $([\Theta_m], \omega_{\text{ц}})$ будуються граничні межі, визначальні можливі зони для вибору ступеня точності коліс редуктора за умови виконання точності ВСС НК - рис.2.

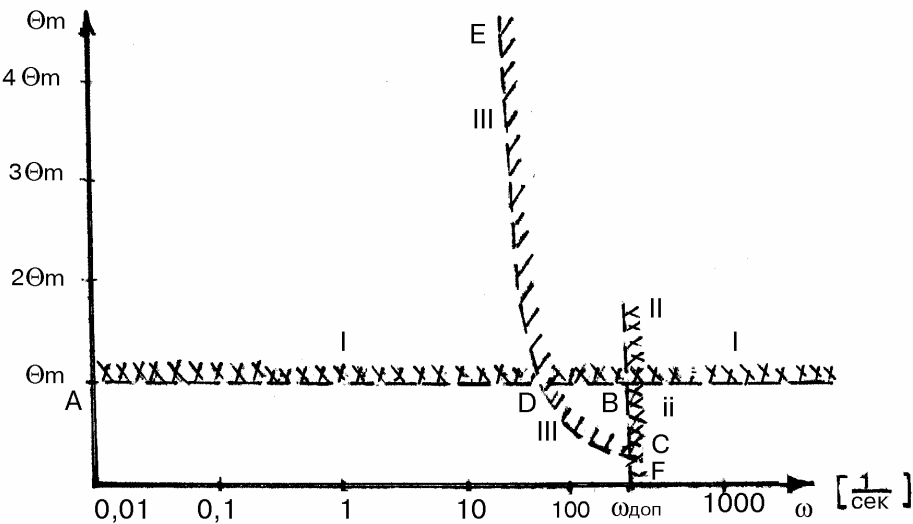


Рисунок 2 – Метод розрахунку ступеня точності коліс редуктора ВСС для забезпечення точності руху навантаження

5. Межа I будується з умови обмеження максимальної амплітуди похибки для кожного колеса редуктора (припустивши, що сумарна похибка редуктора рівна сумі складових кожного колеса, приведених до валу навантаження):

$$\Theta'_m = \frac{[\Theta_{\text{доп}}]}{2n}, \quad (15)$$

де $0,5 [\Theta_{\text{доп}}]$ – половина допустимої помилки системи слідування; n – число коліс редуктора.

6. Межа II будується з умови обмеження в системі прискорень, викликаних прискореннями похибок редуктора, згідно за виразом

$$\omega_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{\ddot{\delta}[\text{рад}]}{\Theta'_m}}. \quad (16)$$

7. Межа III будується з умови обмеження максимальної амплітуди похибки кожного колеса при врахуванні того, що редуктор охоплений від'ємним зворотним зв'язком.

Для оцінки похибки ВСС НК, викликані похибками редуктора, перетворимо схему на рис. 3 а до виду рис. 3 б, тоді похибка колеса визначається:

$$\Delta\varepsilon = \Theta_{m111} \cdot \frac{1}{1+W(p)} \cdot \frac{1}{W(p)}, \quad (17)$$

де $W(p)$ – передатна функція розімкненої ВСС НК.

Оскільки з умови (16) $\Delta\varepsilon = \Theta'_m$, то з виразу (17) можна визначити допустиму похибку колеса на даній частоті її вияву $\Theta_{m111}(\omega) = \Theta'_m \cdot A(\omega)$, де $A(\omega) = |W(j\omega)| \cdot |1+W(j\omega)|$ – модуль амплітудно-частотної характеристики замкненої ВСС.

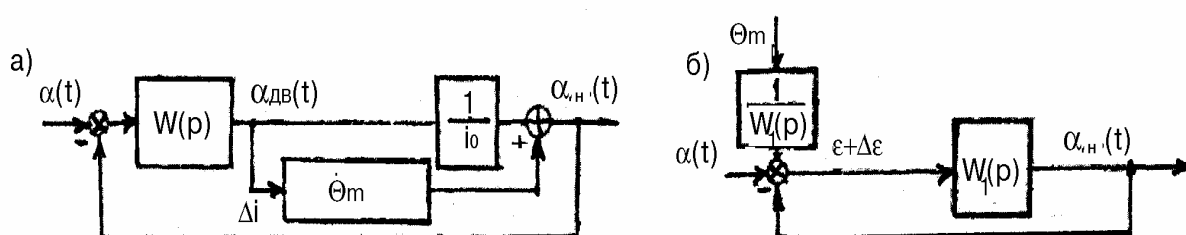


Рисунок 2 – Структурні схеми ВСС з урахуванням похибки редуктора

8. Для забезпечення помилки ВСС, викликані похибкою редуктора, охопленого позиційним зворотним зв'язком, що не перевищує допустиму, згідно за виразом (16), необхідно, щоб положення, відповідне частоті і амплітуді похибок колеса, приведених до валу навантаження, не виходило за межі забороненої області ЕДСФ.

9. Для розімкненої ВСС. У разі необхвату редуктора зворотним зв'язком необхідно, щоб положення, відповідне амплітуді та частоті похибок колеса, не виходило за межі забороненої області АВСF, що є значно більш жорсткою умовою в порівнянні з варіантом п. 8.

Висновки

Експериментальні перевірки запропонованого методу проводилися стосовно редукторів реальних ВСС НК. Згідно з вимогами помилки ВСС, викликані кінематичними і циклічними похибками, не повинні перевищувати 4 кут.с на максимальній робочій швидкості супроводу, що потребує виготовлення коліс, розташованих ближче до навантаження, - восьмого ступеню точності; для коліс, розташованих ближче до виконавчого двигуна, - п'ятого ступеню точності; у разі не обхвату редуктора негативним зворотним зв'язком - четвертий ступінь точності - для всіх коліс. Дослідження спрямовані на подальшу оптимізацію у запровадженні запропонованого методу в промисловості.

Література

1. Плотников В.С., Варфоломеев Д.И., Пустовалов В.Е.. Расчет и конструирование оптико-механических приборов. - М.: Машиностроение, 1983. - 255 с.
2. Ануриев В.И.. Справочник конструктора - машиностроителя. Т. 2. - М.: Машиностроение, 1982. - 584 с.
3. ОТ СЭВ 641-77, СТ СЭВ 642-77, ЕС ДП СЭВ. Зубчатые передачи.
4. ГОСТ 21098-82. Цепи кинематические. Методы расчета точности.
5. Бесекерский В.А. Динамический синтез систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1970. - 575 с.

Задорожный И.С., Задорожный В.И. Метод синтеза параметров силового редуктора системы управления навигационного комплекса

Предлагается метод синтеза системы управления навигационного комплекса для оптимизации степени точности параметров силового редуктора

Zadorozhny I., Zadorozhny V. Method of synthesis of parameters of power reducing gear of the system of control of navigation complex

A method of synthesis of the system of control of navigation complex for optimization of degree of exactness of parameters of power reducing gear is offered

*Надійшла до редакції
6 квітня 2006 року*